

Helsinki 11.10.2000



ETUOIKEUSTODISTUS
PRIORITY DOCUMENT



Hakija
Applicant

VLSI Solution Oy
Tampere

Patenttihakemus nro
Patent application no

20002154

Tekemispäivä
Filing date

29.09.2000

Etuoikeushak. no
Priority from appl.

FI 992210

Tekemispäivä
Filing date

13.10.1999

Kansainvälinen luokka
International class

H04B

Keksinnön nimitys
Title of invention

"Hajaspektrivastaanottimen signaalinhakujärjestelmä"

Täten todistetaan, että oheiset asiakirjat ovat tarkkoja jäljennöksiä patentti- ja rekisterihallitukselle alkuaan annetuista selityksestä, patenttivaatimuksista, tiivistelmästä ja piirustuksista.

This is to certify that the annexed documents are true copies of the description, claims, abstract and drawings originally filed with the Finnish Patent Office.


Pirjo Kaila
Tutkimussihteeri

Maksu 300,- mk
Fee 300,- FIM

Hajaspektrivastaanottimen signaalinhakujärjestelmä

Keksinnön tausta

Keksintö liittyy hajaspektrivastaanottoon ja erityisesti vastaanottimen vastaanottaman signaalin hakujärjestelmään (acquisition).

5 Hajaspektrijärjestelmä (spread spectrum system) on tietoliikennejärjestelmä, jossa signaalin lähettämiseen käytetään oleellisesti laajempaa kaistanleveyttä kuin olisi tarpeen signaalin välittämiseksi. Signaalin spektrin hajottaminen suoritetaan lähettimessä alkuperäisestä datasta riippumattoman valesatunnaisten hajotuskoodin avulla.

10 Suorasekvenssihajaspektrijärjestelmissä (DS-SS, Direct Sequence Spread Spectrum) spektrin hajotus käytettävissä olevalle kaistanleveydelle suoritetaan kääntämällä kanta-aallon vaihetta valesatunnaisten hajotuskoodin mukaisesti. Hajotuskoodin bittejä kutsutaan yleisesti chipeiksi erotuksena varsinaisista databiteistä.

15 Kuviossa 1 on esitetty lohkokkaavio, joka havainnollistaa erästä suorasekvenssiin perustuvaa hajaspektrijärjestelmää. Siinä datalähteen 1-2 signaalia moduloidaan ensin lähettimen 1-1 datamodulaattorissa 1-4, jonka jälkeen modulaattorista 1-4 ulostulevaa kompleksista 1-6, 1-8 signaalia moduloidaan kertomalla kyseinen datamoduloitu signaali koodigeneraattorin 1-10 tuottamalla kompleksisella 1-12, 1-13 hajotuskoodilla kertojassa 1-14: Hajotuskoodimodulaattori 1-16 levittää lähetettävän spektrin hajotuskoodin avulla. Tämän jälkeen kyseisellä data- ja koodimoduloitulla signaalilla moduloidaan kertojassa 1-18 suurtaajuusoskillaattorin 1-20 tuottamaa kanta-aaltoa ja lähetettävästä signaalista poistetaan sen imaginaariosa 1-22. Lähetetty signaali

20 kulkee lähettimen antennista 1-24 siirtotien 1-26 yli vastaanottimen 1-30 antenniin 1-32. Vastaanottimessa 1-30 etuasteen suodatin 1-34 erottaa informaatio-signaalin koko taajuuspektristä. Kompleksinen 1-35, 1-36 signaali sekoitetaan alemmalle taajuudelle kertomalla signaali jänniteohjatun oskillaattorin 1-40 tuottamalla kompleksisella 1-42, 1-44 signaalilla kertojassa 1-45.

30 Hajaspektrijärjestelmän vastaanottimessa sisääntulevan signaalin spektrin kaventamiseen käytetään despread-modulaattorissa (hajotuskoodidemodulaattori) 1-48 referenssisignaalia, koodireplikaa, joka on mainitun hajotuskoodin identtinen kopio. Kuviossa 1 koodigeneraattori 1-46 tuottaa, generoi mainitun hajotuskoodireplikaa, joka korreloidaan kertojassa 1-50 vastaanotetun signaalin kanssa mainitulla hajotuskoodireplikalla. Mikäli koodireplika ja vastaanotettu koodi ovat samat ja samassa vaiheessa, ne korreloivat ja lähe-

35

tetty datamodulaatio saadaan palautettua samaksi kuin se oli ennen hajotusta. Samalla saadaan erilaiset häiriösignaalit vastaavasti hajotettua. Despread-modulaattorin 1-48 jälkeinen kaistanpäästösuo-datin 1-52 päästää datamodu-loinnin läpi mutta poistaa suurimman osan häiriösignaalin tehosta, mikä pa-
 5 rantaa vastaanotetun signaalin signaalikohinasuhdetta.

Jotta hajaspektrivastaanottimessa kyettäisiin ilmaisemaan lähetet-tyä dataa, vastaanottimen generoima koodireplika on synkronoitava (alku-synkronointi, acquisition) vastaanotettuun koodiin mahdollisimman tarkasti ja kyseinen synkronointi on pystyttävä säilyttämään (signaalin seuranta,
 10 tracking). Vastaanottimessa generoidun hajotuskoodireplikän täytyy siis olla ja pysyä samassa vaiheessa vastaanotettuun signaaliin sisältyvän hajotuskoodin kanssa. Tämän vuoksi tarvitaan tavallisten kantoaalto- ja datasynkronointien lisäksi oma synkronointialgoritmi tai -yksikkö koodisynkronointia varten. Alku-synkronoinnin nopeus eli aika jossa koodireplika saadaan osumaan oikeaan
 15 vaiheeseen vastaanotetun koodin kanssa, on hajaspektrijärjestelmän eräs tär-keä suorituskykyparametri. Alkuseynkronointiin on kehitetty monia menetelmiä, minkä lisäksi järjestelmässä voi olla erityisiä lähetettyyn signaaliin liittyviä avusteita alkuseynkronointiin.

Sovitetut suodattimet ovat laitteita, jotka antavat ulostulona aika-käännteisen (time-reversed) replikan, kopion halutusta sisääntulosignaalistaan
 20 kun niiden sisääntulona on impulssi. Sovitetun suodattimen siirtofunktio on sii-hen sovitetun signaalin kompleksikonjugaatti. Sovitettu suodatin voidaan to-teuttaa joko jatkuva-aikaisesti tai diskreettiaikaisesti toimivana. Sovitettu suo-datin laskee korrelaatiota tunnetun referenssisignaalin ja mitattavan signaalin
 25 välillä ja antaa maksimiulostulon, kun referenssisignaali vastaa sisääntulevaa signaalia parhaiten. Tämän vuoksi sovitettu suodatin on käyttökelpoinen ha-jaspektrijärjestelmien signaalinhakuvaiheessa, kun etsitään vastaanottimen generoiman referenssisignaalin oikeaa vaihetta. Sovitettu suodatin voidaan osoittaa optimaaliseksi tavaksi tunnistaa signaaleja AWGN (Additive White
 30 Gaussian Noise) tyypisistä kohinasta.

Kuviossa 2 on esitetty eräs mahdollinen sovitetun suodattimen to-teutuksen signaalivuokaavio. Se koostuu viivelinjasta, jossa on väliulosottoja ja passiivisesta suodattimesta, joka on sovitettu PRN (Pseudo Random Noise)
 -chipin aaltomuotoon. Suodattimen ulostulo on sovitettu PRN-hajotusbittien
 35 peruspulssimuotoon. Kuviossa 2 in(n) kuvaa suodattimen sisääntulevaa sig-naalia ja in(n-1), in(n-2) ... in(n-N_{MF}+1) kuvaavat sisääntulevaa signaalia vii-

västettyä $1, 2 \dots N_{MF}+1$ kappaleella viive-elementtejä T_c . $c(0), c(1) \dots c(N_{MF}-1)$ kuvaavat kertoimia, joilla eri suuruisesti viivästetty sisääntuleva signaali kerrotaan. Kertolaskun jälkeen eri signaalit summataan summaimessa 2-10 ja summasignaali suodatetaan suodattimessa 2-20.

- 5 Sovitetun suodattimen käyttäminen hajaspektrijärjestelmien synkronoinnissa on tunnettua esimerkiksi kirjasta "*Spread Spectrum Communications Handbook*", Marvin K. Simon et al, McGraw-Hill, 1994, sivut 815-832. Tunnetussa sovitetussa suodattimessa suodatin on sovitettu yhteen vastaanotettuun signaaliin kerrallaan. Tämä vaatii joko useamman sovitetun suodattimen käyttöä tai yhden signaalin etsimistä kerrallaan, mikäli halutaan hakea useampaa kuin yhtä signaalia.

- 15 Haettaessa sovitetulla suodattimella kaistanpäästötyypistä signaalia kohinaisesta vastaanotetusta signaalista, tunnetussa ratkaisussa sovitetulle suodattimelle tuleva signaali esikäsitellään kertomalla se kantoaallon estimaatilla, millä poistetaan vastaanottimen taajuusoffset. Jos taajuusoffset ei ole tunnettu, täytyy signaalia hakea eri taajuusoffseteilla koko taajuusepäätarkkuusalueen yli. Lisäksi sovitettu suodatin etsii vastaanottimen generoiman referenssisignaalin oikeaa vaihetta: Sovitettu suodatin laskee korrelaatiota tunnetun signaalin ja mitattavan signaalin välillä eli tuottaa mitan näiden kahden
20 signaalin identtisyydelle. Tyypillisesti suodattimen tuottamat ulostulot ovat epäkoherentisti ilmaistuja amplitudiarvoja.

- Tämän jälkeen kyseistä mittaa verrataan asetettuun kynnysarvoon, jotta voidaan päättää ovatko kyseiset kaksi signaalia synkronissa. Yksinkertaisimmassa tapauksessa kynnysarvon ylittäminen merkitsee, että referenssisignaalia vastaava signaali on tunnistettu ja että tunnistetun signaalin hajotuskoodi on samassa vaiheessa referenssisignaalin kanssa. Tämän tiedon avulla voidaan käynnistää varsinainen signaalin seuranta ja vastaanotto. Mikäli tunnistusta ei tapahdu (kynnysarvo ei ylity), alkusynkronointijärjestelmä muuttaa paikallisesti generoidun referenssikoodin vaihetta tai vaihtaa uuden referenssisignaalin, jonka jälkeen korrelointi toistetaan. Näin jatketaan kunnes tunnistus ja synkronointi saavutetaan eli referenssisignaali vastaa sisääntulevaa signaalia parhaiten. Tällöin sovitettu suodatin antaa maksimiulostulon. Tämän jälkeen käynnistetään vastaanotetun signaalin seuranta-algoritmi.

- 35 Koska hakujärjestelmässä etsitään kaistanpäästötyypistä signaalia, sovitettu suodatin täytyy toteuttaa joko kaistanpäästö- tai ekvivalenttisena alipäästösuodatinversiona. Sovitettua suodatinta käyttävä alipäästötyyppinen

alkusynkronointijärjestelmä on esitetty kuviossa 3. Siinä identtisiin, sovitettuihin suodattimiin 3-10, 3-12 sisääntuleva signaali 3-1 jaetaan kahteen osaan, I- ja Q-haaraan (I eli In-phase, Q eli Quadrature) ja paikallisoskillaattorin 3-2 tuottamalla signaalilla, jonka taajuus voi olla esimerkiksi olennaisesti yhtä suuri

5 kuin vastaanottimen välitaajuuden ja vastaanotetun signaalin Doppler-taajuuden summa, kerrotaan 3-I haaran signaali kertojassa 3-6. Ennen 3-Q haaran signaalin kertomista kertojassa 3-8 paikallisoskillaattorin tuottaman signaalin vaihetta käännetään 90 astetta vaiheenkääntimessä 3-4.

Sisääntulevan signaalin kertomisen jälkeen sisääntulevia, 3-I ja 3-Q

10 haarojen signaaleja korreloidaan olennaisesti identtisissä sovitetuissa suodattimissa 3-10 ja 3-12 vastaanottimessa generoidun koodireplikan kanssa. Tämän jälkeen sovitetuista suodattimista ulostulevat signaalit ilmaistaan eli molempien haarojen signaalit neliöidään elementeissä 3-14 ja 3-16 ja neliöidyt signaalit summataan summaimessa 3-18 kompleksisen sisäänmenosignaalin

15 absoluuttiarvon neliön aikaansaamiseksi. Tämän jälkeen kynnysarvon ilmaisin 3-20 vertaa ilmaistun signaalin arvoa ennalta asetettuun kynnysarvoon, vertailuarvoon. Yksinkertaisimmassa tapauksessa kynnysarvon ylittäminen merkitsee sitä, että kyseistä referenssisignaalia vastaava signaali on tunnistettu ja sen hajotuskoodi on samassa vaiheessa talletetun referenssisignaalin kanssa.

20 Tämän tiedon avulla voidaan käynnistää varsinainen signaalin seuranta ja vastaanotto.

Yleisesti tunnettujen sovitettujen suodattimien rakenteissa referenssisignaalin ja sisääntulevan signaalin ajoitus on kiinnitetty suunnitteluvaiheessa, jolloin sitä ei voi säätää tarkasti eri ajoituksille. Tämä tuottaa ongelmia

25 matalan signaalikohinasuhteen omaavien signaalien hakemisessa, sillä niiden tarvitsema integrointiaika on pitkä. Tämä puolestaan vaatii tarkkaa ajoitusta sovitetun suodattimen näytteistykseen, sillä sovitetun suodattimen toiminta olettaa, että sen referenssisignaali on aikatasossa saman mittainen kuin vastaanotettu signaali. Järjestelmissä, joissa lähettimen ja vastaanottimen liike

30 toisiinsa nähden on nopeaa, aiheutuu kantoaaltoon ja hajotuskoodiin Doppler-siirtymä, jonka suuruus riippuu kyseisen signaalikomponentin taajuudesta. Koska hajotuskoodin taajuus riippuu Doppler-siirtymästä, taajuus ei ole aina tarkalleen sama. Tämä pitää ottaa huomioon myös hakujärjestelmässä, mikäli vaadittu integrointiaika (T_i) on pitkä. Jos taajuuden epätarkkuus on suurempi

35 kuin $1/T_i$, muuttuu koodin ajoitus yli yhden chipin integroinnin aikana, mikä estää hakujärjestelmän toiminnan.

DS-SS-hakujärjestelmän integrointiaikaa rajoittaa myös lähetetyn datan modulointi. Integrointia ei yleisesti ottaen voida jatkaa yli lähetetyn data-symbolin ellei modulointia pystytä kompensoimaan ennen integrointia. Esimerkiksi yleisesti käytetyssä BPSK-modulaatiossa (Binary Phase Shift Keying) databitin muuttuminen aiheuttaa 180° :een vaihesiirron signaalissa, mikä vastaa sen etumerkin kääntämistä. Tämän vuoksi integrointi yli databitin aiheuttaa merkittävää signaalin huononemista. Näin ollen mikäli integrointiaika on pidempi kuin datasymbolin pituus, koherenttia integrointia ei voida käyttää. Pelkän epäkoherentin integroinnin käyttö ei taas ole järkevää, koska epäkoherentti ilmaisu heikentää signaalikohinasuhdetta, mikäli sisääntuleva signaalikohinasuhde on alun perin negatiivinen.

Kaistanpäästö- tai alipäästötyyppinen sovitettu suodatin voidaan toteuttaa joko analogisesti tai digitaalisesti. Yleisin tunnettu tapa toteuttaa sovitettuja suodattimia on perustunut analogiatekniikkaan, missä viivelinja on toteutettu SAW (Surface Acoustic Wave) tai CCD (Charge Coupled Device)-tekniikoilla. Kyseiset järjestelmät on valmistusvaiheessa kuitenkin rakennettu vain tiettyä referenssisignaalia varten. Analogisen diskreettiaikaisen sovitetun suodattimen viivelinja voidaan toteuttaa esimerkiksi SC-tekniikkaan (Switched Capacitor) perustuen. Tämän tekniikan ongelmana on kuitenkin esimerkiksi laskostumisilmiö eli aliasing.

Digitaalitekniikan kehittyminen on tuonut mukanaan myös digitaalisesti toteutetut sovitetut suodattimet. Digitaalisessa suodattimessa on hankalaa toteuttaa vaadittu nopea monen arvon summaaminen yhteen. Sovitetussa suodattimessa täytyy laskea suodattimen pituuden verran referenssisignaaleilla kerrottuja, tallennettuja signaalinäytteitä yhden ulostulonäytteen muodostamiseksi. Perinteisesti tämä on tehty laskemalla pieni määrä lukuja kerrallaan yhteen ja toistamalla prosessi useamman kellojakson ajan. Näin vältetään monisääntuloisen summaimen toteuttaminen.

Keksinnön lyhyt selostus

Keksinnön tavoitteena on laite, jolla sisääntulevaa signaalia ja vastaanottimessa muodostettua signaalia voidaan korreloida vaikka vastaanotetun signaalin signaalikohinasuhde on matala.

Keksinnön tavoite saavutetaan laitteella hajaspektrivastaanottimen vastaanottaman demoduloidun ja digitaalisiksi näytteiksi muunnetun signaalin ilmaisemiseksi, jolle laitteelle on tunnusomaista, että se käsittää:

sovitetun suodattimen, joka laskee korrelaation sisääntulosignaalin ja ainakin yhden referenssisignaalin välillä;

oskillaattorin, joka tuottaa näytteenottotaajuuden;

5 näytteenottopiirin, joka uudelleennäytteistää mainitun demoduloidun digitaalisen näytesignaalin mainitulla näytteenottotaajuudella, joka on sellainen, että sovitetun suodattimen referenssisignaalien näytteiden ajoitus vastaa näytteenottopiiriltä sovitetulle suodattimelle menevän näytesignaalin ajoitusta; ja

10 kertojan, jossa näytesignaali ennen näytteenottopiiriä tai sen jälkeen kerrotaan paikallisesti generoidulla kantoaaltoreplikalla kantoaallonpoistamiseksi näytesignaalista.

Keksinnön ensisijaisen suoritusmuodon mukaisen uudelleennäytteistykseen ansiosta vastaanotetun signaalin näytteistystä voidaan muuttaa siten, että vastaanotetun signaalin ajoitus vastaa sovitetun suodattimen referenssisignaalien näytteiden ajoitusta. Näin uudelleennäytteistystaajuutta sää-
15 tämällä voidaan välttää tekniikan tason suodattimille ominaiset ajoitusongelmat vastaanotetun signaalin ja referenssisignaalien välillä erityisesti matalan signaalikohinasuhteen omaavien signaalien tapauksessa.

Kantoaaltoreplikalla kertomisen jälkeen signaalin taajuus osuu ha-
20 lutulle taajuudelle eli sovitetun suodattimen keskitajuudelle kaistanleveyden antamalla tarkkuudella.

Keksinnön eräässä suoritusmuodossa sovitetun suodattimen jäl-
keen sijoitetaan koherentti integraattori, joka integroi sovitetun suodattimen ulostuloina tuottamat korrelaationäytteet integrointijakson yli, joka on pidempi
25 kuin sovitetun suodattimen ajallinen pituus. Tämä mahdollistaa pitkät integrointiajat esimerkiksi alhaisen signaalikohinasuhteen omaavien signaalien tapauksessa.

Keksinnön eräässä suoritusmuodossa, kun sovitetun suodattimen ulostulot ovat kompleksiset korrelaationäytteet, voidaan koherentti integraattori
30 toteuttaa hyvin yksinkertaisella rakenteella siten, että se käsittää akkumulaattorin kahden tai useamman samaa sisääntulosignaalin vaihe-eroa vastaavan korrelaationäytteen summaamiseksi yhteen, jolloin summa vastaa yhdellä vaihe-erolla laskettua korrelaatiotulosta, jonka integrointiaika on $N_{MF} \cdot L_C$ näytettä, missä N_{MF} on sovitetun suodattimen pituus näytteiden lukumääränä ja L_C on
35 akkumulaattorin summaamien korrelaationäytteiden lukumäärä.

Keksinnön eräässä suoritusmuodossa laite käsittää edelleen laskimen, jolla lasketaan sovitetun suodattimen tai koherentin integraattorin ulostuloina antamien korrelaationäytteiden itseisarvot tai itseisarvojen estimaatit. Näin saadaan absoluutti- tai reaaliarvot, mikä helpottaa myöhempää prosessointia ja mahdollistaa epäkoherentin integroinnin.

Keksinnön erään suoritusmuodon mukaisesti, kun sovitetun suodattimen tai koherentin integraattorin ulostulot ovat kompleksisia korrelaationäytteitä, laskin suorittaa kompleksisen korrelaationäytteen kummankin komponentin neliöinnin, summaa neliöidyt komponentit yhteen ja laskee summasta neliöjuuren.

Keksinnön vielä eräässä suoritusmuodossa laite käsittää myös epäkoherentin integraattorin, joka integroi mainitut korrelaationäytteiden itseisarvot tai itseisarvojen estimaatit integrointijakson yli, joka on pidempi kuin sovitetun suodattimen ajallinen pituus. Näin keksinnössä voidaan sovitetulla suodattimella ja koherentilla integraattorilla suorittaa koherenttia integrointia mahdollisimman pitkään ja tämän jälkeen vielä pidentää integrointiaikaa epäkoherentilla integroinnilla. Epäkoherentti integraattori voidaan toteuttaa samanlaisella yksinkertaisella rakenteella kuin koherentti integraattori.

Keksinnön vielä erään suoritusmuodon mukaan laite käsittää kontrollerin, joka kerää useita samaa vaihe-eroa ja referenssisignaalia vastaavia vertailutuloksia, jotka kertovat ylittääkö sovitetun suodattimen, koherentin integraattorin, itseisarvolaskimen tai epäkoherentin integraattorin ulostuloarvo ennalta määrätyn kynnysarvon vai ei. Kontrolleri päättelee signaalin löytyneen, jos ennalta määrätty osuus kerätyistä vertailutuloksista kertoo ulostuloarvon ylittäneen mainitun kynnysarvon. Tämän varmistuksen avulla voidaan mainittua kynnysarvoa laskea niin, että heikotkin signaalit löytyvät paremmin. Toisin sanoen hakulaitteen herkkyyks paranee. Kontrolleri voi olla esimerkiksi ohjelmallinen tai kovopohjainen tilakone.

Keksintö soveltuu edullisesti digitaalisiin toteutuksiin.

30 Kuvioiden lyhyt selostus

Keksintöä selostetaan nyt lähemmin edullisten suoritusmuotojen yhteydessä, viitaten oheisiin piirroksiin, joista:

Kuvio 1 havainnollistaa suorasekvenssiin perustuvaa hajaspektri-järjestelmää;

Kuvio 2 esittää erästä tekniikan tason mukaista sovitetun suodattimen toteutusta;

Kuvio 3 esittää sovitettua suodatinta käyttävää alipäästötyyppistä alkusynkronointijärjestelmää;

Kuvio 4 esittää lohkokaaavion, joka havainnollistaa keksinnön ensisijaisen suoritusmuodon mukaista datapolkulohkkoa;

5 Kuvio 5 esittää keksinnön erään suoritusmuodon mukaista mukaisen hakujärjestelmän toiminnallista vuokaaviota; ja

Kuvio 6 esittää keksinnön erään suoritusmuodon mukaista tilakoneen tiladiagrammia.

Keksinnön yksityiskohtainen selostus

10 Tässä dokumentissa kompleksisella signaalilla tarkoitetaan signaalia, joka koostuu kahdesta signaalikomponentista, jotka on saatu kertomalla vastaanotettu signaali kantoaaltoreplikalla ja sen 90° vaihesiirretyllä versiolla. Toisin sanoen, jos vastaanotettu signaali $r(t)$ on muotoa:

$$15 \quad r(t) = I(t) \cdot \cos(\omega_c t + \theta_0) - Q(t) \cdot \sin(\omega_c t + \theta_0)$$

missä ω_c , t ja θ_0 kuvaavat vastaavasti kantoaaltoaajuutta, aikaa ja tuntematonta vakiota vaihetermiä ajanhetkellä 0. $I(t)$ ja $Q(t)$ muodostavat edellä mainitun kompleksisen signaalin, jolla on matemaattinen esitysmuoto:

$$20 \quad z(t) = A(t) \cdot e^{j\phi(t)} = A(t) \cdot \cos(\phi(t)) + j \cdot A(t) \cdot \sin(\phi(t)) = I(t) + j \cdot Q(t)$$

Tällöin:

$$25 \quad r(t) = \operatorname{Re}(z(t) \cdot e^{j(\omega_c t + \theta_0)}) = \operatorname{Re}(A(t) \cdot e^{j\phi(t)} \cdot e^{j(\omega_c t + \theta_0)})$$

Keksinnön ensisijaisen suoritusmuodon mukainen hakujärjestelmä koostuu neljästä peruslohkosta: datapolkulohkosta, ohjauslohkosta, tilakoneesta ja I/O -lohkosta. Näistä lohkoista selostetaan yksityiskohtaisemmin datapolkulohkkoa ja tilakone-lohkkoa seuraavissa jaksoissa.

Datapolkulohko

Sovitetun suodattimen datapolkulohko on hakujärjestelmän ydin ja se sisältää sovitetun suodattimen toteutuksen datapolun lisäksi myös lohkoja, joilla käsitellään sisääntulevaa signaalia. Kuviossa 4 on havainnollistettu erästä datapolkulohkon toteutusta. Käytetty sovitettu suodatin on alipäästö-

tyyppiä ja sen aritmetiikka on aikamultipleksoitu käsittelemään sisääntulevan kompleksisen signaalin kumpaakin komponenttia, joista jatkossa käytetään nimityksiä I (reaaliosa, in-phase) ja Q (imaginaariosa, quadrature). Sovitetun suodattimen pituus on tässä toteutuksessa N_{MF} näytettä. Hakusovelluksen kannalta edullisinta on, että suodattimen pituus on yhtä pitkä kuin käytetty hajoituskoodi, kuten tässä toteutuksessa.

Ennen uudelleennäytteistystä RF-etuasteelta saatava näytteistetty ja digitaaliseksi muutettu vastaanotettu kompleksinen signaali 4-2 ja 4-4 (I- ja Q-signaalit) suodatetaan alipäästösuodattimessa 4-6 laskostumisen (aliasing) estämiseksi. Kompleksisen signaalin 4-2 ja 4-4 (I- ja Q-signaalit) näytteenottotaajuus on suurempi kuin sovitettun suodattimen käyttämä näytteistystaajuus. Tämä helpottaa uudelleennäytteistystyksen toteutusta ja parantaa kvantisoinnin lopullista tarkkuutta.

Tämän jälkeen signaali uudelleennäytteistetään numeerisesti ohjatun oskillaattorin (NCO, Numerically Controlled Oscillator) 4-8 ohjaamalla taa-juudella desimointielementissä 4-10, joka tuottaa näytteitä sovitettun suodattimen näytteenottotaajuudella. Sovitettu suodatin on suunniteltu siten, että sen näytteistysnopeus on lähetettävän signaalin chippitaajuuden monikerta, joten kutakin lähetettyä chippiä vastaa sama kokonaislukumäärä näytteitä sovitettussa suodattimessa.

Oskillaattorin 4-8 tuottama kellosignaali viedään 4-11 myös sovitettun suodattimen referenssisignaalin tuottavalle valesatunnaiskohinageneraattorille 4-18, jonka ulostulo kellotetaan sovitettun suodattimen referenssisignaalin tallettavaan siirtorekisteriin 4-20. Siirtorekisteriin 4-20 kellotetaan signaalia vain silloin kun hakujärjestelmän toiminta aloitetaan tai käytettävää referenssisignaalia halutaan vaihtaa.

Oskillaattorin 4-8 avulla sovitettun suodattimen sisääntulon näytteistystaajuus pystytään säätämään niin, että sisääntulevan signaalin näytteiden ajoitus vastaa referenssisignaalin ajoitusta.

Sovitettun suodattimen referenssisignaali voidaan tuottaa myös muilla tavoin, esimerkiksi korvaamalla siirtorekisteri 4-20 ROM muistilla, johon käytetyt referenssisignaalit on talletettu. Referenssisignaaleja voi myös olla useampia yhtä aikaa käytössä, jolloin järjestelmää voidaan käyttää usean signaalin samanaikaiseen hakuun. Tällöin sovitettun suodattimen laskenta suoritetaan aikamultipleksoidusti referenssisignaalia vaihtaen kutakin sisääntulevaa näytettä kohden.

Sovitetun suodattimen kaistanleveys on kääntäen verrannollinen suodattimen pituuteen. Käyttökelpoinen signaalikaista on noin suodattimen pituuden käänteisluku, missä pituus on ilmoitettu sekunteina ja kaistanleveys hertseinä. Jotta hakujärjestelmä kykenisi etsimään signaaleja, joiden taajuus-
 5 sepävarmuus on suurempi kuin sovitettun suodattimen kaista, sisääntulevan signaalin taajuutta kompensoidaan käyttäen kertojaa 4-12, joka toteuttaa kompleksisen kertolaskun numeerisesti ohjatun kantoaaltotaajuusoskillaattorin 4-14 tuottaman kompleksisen kantoaaltoreplikin kanssa. Kertoja 4-12 ja oskillaattori 4-14 voivat sijaita myös ennen uudelleennäytteistystä. Tämä mah-
 10 dollistaa sovitettun suodattimen näytteenottotaajuutta korkeampien signaali-taajuuksien käsittelyyn.

Kertolaskun jälkeen uudelleennäytteistetyt ja taajuuskorjatut näytteet syötetään sovitettuun suodattimeen 4-16, joka laskee niiden korrelaatiota yhden tai useamman referenssisignaalin kanssa. Tämä tapahtuu lataamalla I-
 15 ja Q-datavirrat rinnakkaisesti kahteen siirtorekisteriin 4-22. Datarekisterissä olevia signaaleja verrataan referenssirekisterissä 4-20 olevan ainakin yhden referenssisignaalin kanssa korreloimalla niitä keskenään laskentalohkon 4-16 avulla.

Referenssisiirtorekisteristä (tai referenssimuistista) 4-20 ja datasii-
 20 torektisteristä 4-22 kullakin hetkellä syötettyä referenssisignaalia ja I- ja Q-signaaleja verrataan siis toisiinsa kerto- ja summauslohkossa 4-24. Vertailu voi tapahtua esimerkiksi XNOR-veräjällä (Exclusive Not Or), jonka ulostulo on 1, jos sen kaksi sisääntuloa ovat samat. Tämän vertailun jälkeen on olemassa N_{MF} 1-bittistä data-arvoa, jotka summataan yhteen kullekin näytteelle sovitettun
 25 suodattimen lopullisten ulostulojen tuottamiseksi. Hakujärjestelmän laskentalohkon toteuttama funktio on esitetty seuraavassa. Sovitetun suodattimen ulostulo $out(i)$ lasketaan erikseen I- ja Q-signaalikomponenttien suhteen.

$$out(i) = \sum_{n=0}^{N_{MF}-1} in(i-n) \cdot ref(n)$$

30

Laskennan tuloksena syntyvät sovitettun suodattimen ulostulot 4-26 ja 4-28. Yksinkertaisimmillaan referenssisignaali ja datasignaali ovat yksibittisiä. Tällöin reaalinen signaali saa arvot ± 1 , joille laskennassa käytetään vastinarvoja 0 ja 1. Näin kertolasku voidaan helposti toteuttaa käyttäen XNOR
 35 porttia, jonka ulostulo on 1, mikäli sen sisäänmenot ovat identtiset, kuten

edellä todettiin. Tällöin täydellistä korrelaatiota vastaa ulostulon arvo N_{MF} ja täysin vastakkaisia signaaleja arvo 0. Tällöin $out(i)$ laskentakaavaksi muodostuu:

$$out(i) = 2 \cdot \left(\sum_{n=0}^{N_{MF}-1} (in1(i-n) \text{ XNOR } ref1(n)) \right) - N_{MF}$$

5

missä $in1(i)$ on yksibittinen suodattimen datasiirtorekisterin i :s alkio ja $ref1(n)$ on yksibittinen referenssisignaalin n :s näyte. Bittiarvot vastaavat negatiivisia ja positiivisia signaaliarvoja molemmissa tapauksissa vastaavasti.

Usean luvun summan laskenta on sovitetussa suodattimessa vaativin tehtävä ja siihen on olemassa useita tapoja. Koska tämän keksinnön mukainen hakujärjestelmä ei ole riippuvainen sovitetun suodattimen laskennan toteuttamistavasta, siihen ei puututa tässä sen tarkemmin.

Sovitetun suodattimen ulostulot 4-26 ja 4-28 ovat kompleksisia signaaleja, jotka vastaavat sisäänmenosignaalin (risti)korrelaatiota referenssisignaali(e)n kanssa ajan funktiona. Jos korreloitavan signaalin toistumisjakson pituus on N_C näytettä, voidaan ulostuloissa 4-26 ja 4-28 erottaa N_C :n näytteen jaksoja, jotka vastaavat ristikorrelaatiofunktion erilaisia aikaeroja. Koska signaali on jaksollinen, voidaan myös puhua signaalien vaihe-eroista, mikä tarkoittaa samaa asiaa. Monikanavaisen sovitetun suodattimen tapauksessa eri

20

kanavien samaa vaihe-eroa vastaavat ulostulot ovat peräkkäin.

Jos ulostuloja 4-26 ja 4-28 tarkastellaan N_C :n näytteen välein, ne voidaan käsittää N_C kappaleeksi erillisiä signaaleja, jotka vastaavat kutakin erilaisella vaihe-erolla referenssisignaalin kanssa korreloitua signaalia, joka on desimoitu näytteenottotaajudeltaan N_C :nteen osaan sovitetun suodattimen

25

näytteenottotaajuudesta. Näin ollen sovitettu suodatin toteuttaa N_{MF} kappaletta rinnakkaisia kompleksisia korrelaattoreita ja desimaattoreita, joiden ulostulot on aikamultipleksoitu signaaleiksi 4-26 ja 4-28 ja joiden integrointiaika on N_{MF} näytettä.

Korrelaattorin ulostulon signaalikohinasuhde riippuu sisäänmeno-

signaalin signaalikohinasuhteesta ja integrointiajasta. Mitä pidempi integrointiaika, sitä parempi signaalikohinasuhde saavutetaan korrelaattorin ulostulossa. Sovitetun suodattimen pituutta rajoittaa muun muassa se, että kutakin sisäänmenonäytettä kohden on laskettava yksi ulostulo, mitä varten on suoritettava pituutta vastaava määrä kertolaskuja ja summauksia.

30

Keksinnön mukaisen hajaspektrivastaanottimen signaalinhakujärjestelmän datapolkulohkossa korreloidun signaalin integrointiaikaa pidennetään sovitetun suodattimen jälkeen olevassa integrointiosassa 4-100, missä integrointi tapahtuu mahdollisesti kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa integrointia jatketaan koherentisti lohkojen 4-34 ja 4-36 avulla. Koherentti integrointi tarkoittaa, että integroitavan kompleksisen signaalin amplitudi ja vaihe vaikuttavat integrointitulokseen. Tämä tapahtuu summaamalla kompleksisen signaalin reaali- ja imaginaariosat erikseen. Koherentti integrointi parantaa signaalikohinasuhdetta lineaarisesti kokonaisintegrointiajan suhteessa riippumatta sisääntulevan signaalin signaalikohinasuhteesta.

Suorasekoitushajaspektrijärjestelmissä käytetään yleisesti kaksivaihemodulaatiota (BPSK, Binary Phase Shift Keying), missä signaalin merkki muuttuu databittien mukaan. Jos koherenttia integrointia jatketaan databittien rajan yli ja bitin arvo muuttuu, integroinnin tulos huononee merkittävästi. Yleensä lähetetyn datan keskiarvo on nolla, mikä aiheuttaisi myös koherentin integroinnin tulokseksi nolla, mikäli integrointia jatkettaisiin loputtomasti.

Ottamalla kompleksisesta signaalista sen itseisarvo, datan vaikutus häviää BPSK:n tapauksessa. Itseisarvo-operaation jälkeen reaalisen signaalin arvo on verrannollinen vastaanotetun signaalin tehon neliöjuureen, ja arvo muodostuu kohinatehon ja mahdollisen etsityn signaalin summasta. Pidentämällä integrointiaikaa voidaan mittauksien varianssia pienentää, jolloin tarvittava virhemarginaali pienenee, mikä edelleen parantaa saavutettavaa etsintäjärjestelmän herkkyyttä.

Ennen koherenttia integrointia on mahdollista korjata uudelleen kantoaaltoestimaatin tarkkuutta käyttäen kertojaa 4-30, joka toteuttaa kompleksisen kertolaskun numeerisesti ohjatun kantoaaltotaajuusoskillaattorin 4-32 tuottaman kompleksisen kantoaaltoreplikan kanssa. Kantoaaltotaajuuden korjauksen suorittaminen kahdessa vaiheessa on edullista, sillä pienemmän näytteenottotaajuuden ansiosta jälkimmäisen oskillaattorin vaatima bittimäärä on huomattavasti ensimmäistä pienempi taajuustarkkuuteen nähden. Toinen syy on, että sovitetun suodattimen jälkeen voidaan toteuttaa useita rinnakkaisia integrointilohkoja jotka kukin operoivat eri kantoaaltotaajuuksilla käyttäen yhteistä sovitettua suodatinta korrelaatioiden muodostamiseen. Jälki-integrointi on helppo toteuttaa verrattuna varsinaiseen sovitettuun suodatimeen, mikä tekee tästä edullisen tavan lyhentää tarvittavaa kokonaishakuaikaa.

Toisessa vaiheessa integrointi tapahtuu epäkoherentisti lohkojen 4-40 ja 4-42 avulla. Epäkoherentti integrointi tarkoittaa, että vain integroitavan kompleksisen signaalin amplitudi vaikuttaa integrointituloksen. Tämä tapahtuu summaamalla kompleksisen signaalin itseisarvoa, jolloin vaiheinformaatio häviää. Epäkoherentti integrointi parantaa signaalikohinasuhdetta epälineaarisesti kokonaisintegrointiajan suhteessa riippuen sisääntulevan signaalin signaalikohinasuhteesta. Alle yhden olevilla signaalikohinasuhteilla parannusta tapahtuu erittäin vähän pidennettäessä integrointiaikaa. Tämän vuoksi koherenttia integrointia kannattaa jatkaa niin pitkään kuin mahdollista. Koherentin integrointiajan rajoituksina on kaventuva kaistanleveys, joka vaatii yhä tarkempaa kantoaaltoreplikan taajuudensäättöä, ja signaalissa mahdollisesti oleva datamodulaatio.

Koherentti integrointi tapahtuu lohkoissa 4-34, ja se käyttää välitulosten tallettamiseen muistilohkoa 4-36. Lohkon 4-36 tarkoituksena on mahdollistaa sovitettujen suodattimien 4-16 pituutta N_{MF} pidempiä integrointijaksoja. Tämä aikaansaadaan tallentamalla sovitetulta suodattimelta 4-16 saadut ulostulot muistiin 4-36 ja summaamalla akussa 4-34 useampi L_C samaa vaiheeroa vastaava näyte yhteen. Kukin tällainen summa vastaa yhdellä vaiheerolla laskettua korrelaatiotulosta, jonka integrointiaika on $N_{MF} \cdot L_C$ näytettä. Koska summaus tehdään sovitettujen suodattimien kompleksisille ulostuloille 4-26 ja 4-28, se on koherenttia eli signaalin vaihe vaikuttaa saatuun tulokseen.

Koherentti integrointi tapahtuu siis lataamalla ensin muistista 4-36 kyseistä sovitettujen suodattimien korrelaativaihetta vastaava kompleksinen arvo, johon kertojan 4-30 tulos summataan ja summa talletetaan samaan muistipaikkaan. Kun haluttu määrä näytteitä on summattu, summa annetaan integrointilohkosta eteenpäin ja muistissa oleva summa nollataan. Vaihtoehtoisesti nollaus voidaan myös tehdä luettaessa ensimmäistä summausta varten arvoa muistista.

Normituslohko 4-38 ottaa koherentisti integroiduista näytteistä, jotka saadaan lohkolta 4-36 tai suoraan sovitettujen suodattimien 4-16 ulostulonäytteistä (kompleksisen luvun) itseisarvon. Kompleksiluvun z itseisarvo lasketaan kaavan

$$|z| = \sqrt{\text{Re}(z)^2 + \text{Im}(z)^2}$$

mukaisesti, missä $\text{Re}(z)$ on kompleksiluvun z reaaliosa ja $\text{Im}(z)$ sen imaginaariosa. Koska neliöjuurifunktion laskenta on raskas operaatio, voidaan sen tarkka arvo korvata sopivalla estimaatilla, joka on helpompi laskea. Kaksi suhteellisen hyvää estimaattia ovat itseisarvon neliö, jossa neliöjuurifunktio jätetään kokonaan laskematta, ja reaaliosan ja imaginaariosan itseisarvojen summa. Jälkimmäisen estimaatin etuna voidaan lisäksi pitää sitä, että estimaatin vaatima bittimäärä on sama kuin kompleksiluvun toisen komponentin vaatima bittimäärä.

Lohkon 4-38 ulostulosta saatu reaalinen signaali voidaan integroida siis epäkoherentisti lohossa 4-40, joka käyttää välitulosten tallettamiseen muistilohkoa 4-42. Integrointi tapahtuu lataamalla ensin muistista kyseistä sovitettun suodattimen korrelaatiovaihetta vastaava välisumman arvo, johon lohkon 4-38 tulos summataan ja summa talletetaan samaan muistipaikkaan. Kun haluttu määrä näytteitä on summattu, summa 4-44 annetaan integrointilohkosta eteenpäin, ja muistissa oleva summa nollataan. Vaihtoehtoisesti nollaus voidaan myös tehdä luettaessa ensimmäistä summausta varten arvoa muistista.

Molempien integroinnissa tarvittavien muistien 4-36 ja 4-42 koko on N_{MF} näytettä. Muistissa 4-36 näytteet ovat kompleksilukuja ja muistissa 4-42 näytteet ovat reaalitykkuja.

Lopuksi hakujärjestelmästä saatuja näytteitä 4-44 verrataan vertailijaissa COMP 4-45 etukäteen asetettuun kynnysarvoon ja vertailutulokset viedään hakualgoritmilte. Hakualgoritmi voi olla toteutettu esimerkiksi tilakoneena tai ohjelmana. Oikean päätöksen todennäköisyyden kasvattamiseksi ja väärin päätösten todennäköisyyden pienentämiseksi mahdolliset kynnysarvojen ylitykset vielä varmistetaan vertaamalla useampaa samaa vaihe-eroa vastaavaa vertailutulosta.

Mikäli riittävän moni vertailu ylittää kynnysarvon voidaan hyvällä todennäköisyydellä olettaa signaalin löytyneen. Varmistusalgoritmia käyttämällä voidaan kynnysarvotasoa laskea siten, että heikotkin signaalit löydetään. Tässä suhteessa varmistusalgoritmeilla voidaan joissain tapauksissa jopa korvata epäkoherentti integrointi kokonaan. Lisäksi mikäli sisääntuleva signaalikohinasuhde on riittävän korkea ja sovitettun suodattimen pituus riittävän suuri, voidaan koherentti integrointi ja sitä edeltävä kantoaaltoreplikalla kertominen jättää pois ja viedä signaali sovitetusta suodattimesta suoraan itseisarvon laskentalohkoon 4-38.

Koska yleisessä tapauksessa vastaanottimen taajuusepävarmuus on suurempi kuin datapolun kokonaiskaistanleveys ($1/T_1$), pitää vastaanotettua signaalia etsiä useampaa taajuusarvoa käyttäen. Tämän takia kantoaalto-
 5 juutta voidaan säätää, kun koko hajotuskoodin vaihe-epätarkkuus on käyty läpi. Hakua voidaan ohjata joko tilakoneen avulla tai käyttäen erillisessä prosessorissa ajettavaa hakuohjelmaa.

Hakuun vaadittavaa aikaa voidaan lyhentää lyhentämättä integrointiaikaa lisäämällä useampia rinnakkaisia jälki-integrointilohkoja 4-100. Tämä edellyttää kuitenkin, että pysytään sovitettun suodattimen kaistanleveyden rajoissa.
 10

Järjestelmissä, joissa lähettimen ja vastaanottimen liike toisiinsa nähden on nopeaa, kantoaaltoon ja hajotuskoodiin muodostuu Doppler-siirtymää, jonka suuruus riippuu signaalikomponentin taajuudesta. Siten myös hajotuskoodin taajuuden vaihtelu Doppler-siirtymän johdosta pitää ottaa huomioon hakujärjestelmässä, mikäli vaadittu integrointiaika (T_1) on pitkä. Mikäli
 15 Doppler-siirtymästä aiheutunut taajuuden epätarkkuus on suurempi kuin $1/T_1$, koodin ajoitus muuttuu integroinnin aikana yli yhden chipin. Keksinnön ja sen edullisten suoritusmuotojen mukainen hakujärjestelmä kykenee toimimaan kuitenkin näissäkkin olosuhteissa säätämällä sovitettun suodattimen näytteenottotaajuuden muodostavan oskillaattorin 4-8 taajuutta.
 20

Yleisesti ottaen suorasekoitettu hajaspektrisygnali on koodin kanalta jaksollinen, missä jakson pituus on yhtä suuri kuin koodin pituus. Signaali näytteistetään vastaanottimessa (ennen sovitettua suodatinta) näytteenotto-
 25 taajuudella F_s . Näin ollen vastaanotetussa signaalissa esiintyy jaksollisuus N_C :n näytteen välein. Kun sovitettun suodattimen pituus oletetaan pienemmäksi tai yhtäsuureksi kuin hajotuskoodin pituus ja sitä merkitään näytteinä N_{MF} :llä, on voimassa yhtälö: $N_C = N_{MF}$.

Hakujärjestelmässä on edullista, mikäli $N_C = N_{MF}$, sillä silloin kaikki koodivaiheet saadaan haetuksi yhdellä kerralla. Jos unohdetaan vastaanottimessa olevan kohinan ja kantoaalto- ja kello-oskillaattoreiden epätarkkuuksien vaikutukset, voidaan sanoa, että sovitettun suodattimen jälkeen signaali on edelleen jaksollista N_C näytteen välein. Erityisesti, mikäli $N_C = N_{MF}$ eli suodatin on koko koodin mittainen, sen ulostulossa näkyy selvä maksimi signaalin absoluuttiarvossa aina N_C näytteen välein. Mikäli tällöin ulostuloja summataan
 35 niin, että aina N_C näytteen välein olevat ulostuloarvot lasketaan yhteen, saa-

daan maksimisignaalia edelleen vahvistettua. Tuloksena saadaan siis N_{MF} -summia, jotka on muodostettu seuraavasti:

$$S(n) = \sum_{i=0}^{N_s-1} \text{out}(i \cdot N_c + n), \quad 0 \leq n < N_{\text{SUM}} = N_{MF}$$

5 Tässä N_s on summattujen monikertojen määrä, $\text{out}(i)$ on sovitettun suodattimen ulostulo näytehetkellä i ja N_{SUM} eri summien määrä.

Summaukseen käytetään yhteensä $N_s \cdot N_c$ näytettä, joista kuhunkin summaan poimitaan N_s kappaletta sovitettun suodattimen ulostuloarvoja. Jos suodattimen pituus on pienempi kuin koodin pituus, pitää osa sen ulostuloista
10 jättää ottamatta huomioon. Edellisestä kaavasta käy lisäksi ilmi, että summaus vaatii kutakin haluttua summaa varten akkumulaattorin. Vaihtoehtoisesti suodattimen ulostulot on talletettava muistiin odottamaan summausta. Minimissään operaatio vaatii N_{SUM} kappaletta muistipaikkoja, joissa summauksen välituloksia säilytetään.

15 Summaus voidaan suorittaa esimerkiksi seuraavan algoritmin mukaisesti:

```

i := 0
while i < Ns*Nc do
20   index := mod(i, Nc)
      if (index < Nsum) then
          accu[index] := accu[index] + MF_output(i)
      endif
      i := i + 1
25 enddo

```

missä $\text{mod}(i, n)$ antaa i/n :n jakojäännöksen.

Mikäli sovitettun suodattimen ulostulo on kompleksinen signaali, pitää myös accu - ja summaus-toiminteiden olla kompleksisia. Algoritmin suorituksen jälkeen $\text{accu}[n]$ on yhtä kuin $S(n)$.
30

Jos yksinkertaisuuden vuoksi oletamme, että sovitettun suodattimen näytteenottotaajuus on sama kuin koodin chippitaajuus, niin alipäästötyypin suodattimen, kertoimet ovat muotoa: $c(i) = \text{PRN}(N_c - \text{mod}(i, N_c))$, missä $\text{PRN}(j)$ on koodin j :s chippi. Näin ollen, jos suodattimen pituus on koodin pi-

tuuden monikerta ($N_{MF} = N_S \cdot N_C$) huomataan, että sen kertoimet $c(k \cdot N_C)$ ovat samoja. Tällöin sovitettun suodattimen ulostulo on:

$$\text{out}(i) = \sum_{n=0}^{N_{MF}-1} \text{in}(i-n) \cdot c(n)$$

5

Tämä voidaan, mikäli $N_{MF} = N_S \cdot N_C$, kirjoittaa myös muotoon:

$$\text{out}(i) = \sum_{k=0}^{N_S-1} \left(\sum_{j=0}^{N_C-1} \text{in}(i - k \cdot N_C - j) \cdot c(j) \right)$$

10

Edellä oleva kaava esittää jatkuvaa integrointia N_C mittaisen sovitettun suodattimen ulostulosta N_S :n koodin mitan yli. Sama asia voidaan esittää myös toisinpäin, eli integroimalla N_S kappaletta ulostuloja N_C :n näytteen välein saadaan $N_S \cdot N_C$ mittaista sovitettua suodatinta vastaava ulostulo:

15

$$\text{out}(i) = \sum_{j=0}^{N_C-1} \left(\sum_{k=0}^{N_S-1} \text{in}(i - k \cdot N_C - j) \right) \cdot c(j)$$

20

Jos $N_{MF} < N_C$ voidaan jälki-integroinnilla saavuttaa vastaava etu, mutta suodattimen kohinaa vaimentava vaikutus on pienempi kuin $N_S \cdot N_C$ mittaisesta integrointiajasta voitaisiin päätellä, sillä osaa sisääntulevasta informaatiosta ei voida käyttää hyväksi.

Tilakoneloikko

25

Keksinnön ensisijaisessa suoritusmuodossa edellä kuvattua sovitettua suodatinta käyttävää hakujärjestelmää voi ohjata tilakone, joka huolehtii verifiointialgoritmin toteuttamisesta ja kanta-aaltotaajuuksien pyyhkäisystä useamman taajuusoffsetin hakua varten. Eräs esimerkki tilakoneen ja hakujärjestelmän toiminnallisesta vuokaaviosta on esitetty kuviossa 5. Tässä suodattimen pituus on N_{MF} näytettä.

30

Vaiheessa 5-2 datarekisteriin ladataan yksi näyte kerrallaan sisääntulevasta signaalista. Koska sovitettun suodattimen pituus on N_{MF} näytettä, rekisteriin ladataan $N_{MF}-1$ näytettä. Vaiheessa 5-3 rekisteriin ladataan vielä yksi uusi näyte eli sisääntulevan signaalin viimeinen näyte eli näyte N_{MF} . Vaiheessa 5-4 siirtorekisterissä olevaa dataa verrataan koodireplika- eli referenssisignaaliin. Mikäli korrelaatio ei ylitä asetettua kynnysarvoa, siirtorekisteriin

ladataan seuraava näyte sisääntulevasta signaalista vaiheessa 5-3. Yksinkertaisimmassa tapauksessa kynnysarvon ylittäminen merkitsee, että kyseistä referenssisignaalia vastaava signaali on tunnistettu ja sen hajotuskoodi on samassa vaiheessa talletetun referenssisignaalin kanssa. Tämän tiedon avulla
5 voidaan käynnistää varsinainen signaalin seuranta ja vastaanotto. Mikäli vastaanotetun signaalin voimakkuus on kuitenkin pieni kohinaan nähden, ei yksinkertainen kynnysarvon ylitys ole riittävä tae signaalin löytymisestä. Tämän takia voidaan käyttää löydön varmistamiseen algoritmia, jossa ensimmäisen kynnysarvon ylityksen jälkeen ladataan siirtorekisteriin uusi sisääntulosignaali,
10 joka korreloidaan referenssisignaalin kanssa sovitetulla suodattimella vastavassa vaiheessa kuin mitä ensimmäinen löytöhetki oli.

Mikäli vertailuarvo siis ylittää asetetun kynnysarvon, koodisignaalin oikea vaihe on potentiaalisesti löydetty, ja järjestelmä siirtyy signaalin etsintätilasta 5-40 signaalilöydön varmistamisen tilaan 5-50. Tässä järjestelmä odottaa ensin N_{MF} näytteen ajan vaiheessa 5-6, jonka jälkeen vaiheessa 5-8 vertailu toistetaan.

Mikäli kynnysarvo alittuu, rekisterin *FAIL* arvoa kasvatetaan yhdellä yksiköllä vaiheessa 5-10, jonka jälkeen siirrytään vaiheeseen 5-12. Tällöin rekisterin *FAIL* arvoa verrataan asetettuun maksimiarvoon, joka kertoo montako
20 kertaa kynnysarvo voi alittua. Mikäli kynnysarvon alittavien vertailutulosten lukumäärä ylittää sille annetun raja-arvon, siirrytään takaisin vaiheeseen 5-3. Muussa tapauksessa siirrytään vaiheeseen 5-6.

Mikäli kynnysarvo ylittyy, rekisterin *DET* arvoa kasvatetaan yhdellä yksiköllä vaiheessa 5-14, jonka jälkeen siirrytään vaiheeseen 5-16. Tällöin rekisterin *DET* arvoa verrataan asetettuun maksimiarvoon, joka kertoo montako
25 kertaa kynnysarvon täytyy ylittyä ennen signaalin julistamista löytyneeksi. Mikäli kynnysarvon ylittävien vertailutulosten lukumäärä ei ylitä sille annettua raja-arvoa, siirrytään takaisin vaiheeseen 5-6.

Edellä olevaa toimintaa jatketaan, kunnes kynnysarvon ylittävien tai
30 alittavien näytteiden lukumäärä ylittää ennalta asetetun, ainakin yhden lukumäärän/kynnysarvon. Tämän jälkeen signaali voidaan julistetaan löytyneeksi vaiheessa 5-20 tai vaihtoehtoisesti etsintää jatketaan seuraavasta datanäytteestä vaiheessa 5-3.

Kaikkien koodivaiheiden tarkastamisen jälkeen, kantoaaltoreplikaoskillaattorin taajuutta muutetaan ja hakuprosessi toistetaan alkaen $N_{MF}-1$ datanäytteen lataamisesta siirtorekisteriin (vaihe 5-2). Kun hakuprosessi on tois-

tettu kaikilla etsittävillä taajuuksilla, taajuus asetetaan alkuarvoonsa ja haku toistetaan.

Mikäli suorasekvenssijärjestelmän vastaanottimen kantoaaltotaajuus ja hajotuskoodin kellotaajuus on tuotettu yhteen taajuusreferenssiin sidotuista generaattoreista, voidaan kantoaaltotaajuuden offsetista laskea myös tarvittava säätöarvo sovitettun suodattimen näytteistyskellolle. Muussa tapauksessa sovitettun suodattimen näytteistyskellon taajuuden säätö on tehtävä muulla algoritmilla. Kuitenkin kantoaallon ja hajotuskoodin Doppler-siirtymät ovat suoraan verrannollisia niiden taajuuksien suhteessa.

10 Tilakone käsittelee sovitettun suodattimen ulostuloja. Kutakin kanavaa varten tarvitaan:

1. tilamuuttuja, joka kertoo tilan missä ollaan;
2. laskuri, jolla toteutetaan N_{MF} :n mittainen viive alussa ja suoritettaessa signaalilöydön varmistusta; sekä
- 15 3. statusmuuttujia, joissa on tieto mm. koodivaiheesta, missä kullakin hetkellä ollaan, ja joka annetaan ulostulona mikäli signaali löytyy.

Kanaville yhteisenä tässä toteutuksena on muuttuja, joka sisältää tiedon kullakin hetkellä voimassa olevasta etsittävän signaalin kantoaaltotaajuudesta.

20 Keksinnön ensisijaisen suoritusmuodon mukaisen hakuprosessia kontrolloivan tilakoneen tiladiagrammi on esitetty kuviossa 6. Tilakoneella on kaksi aktiivista tilaa ja kaksi tilaa, joita käytetään odottamiseen. Aloitustila on fwait-tila, jossa uusi data kellotetaan siirtorekistereihin. Odotus tässä tilassa kestää niin monta näytekellojaksoa kuin siirtorekisterissä on bittejä, ts. N_{MF} näytettä. Pyyhkäisyn odotuksen jälkeen siirrytään seek-tilaan. Tässä tilassa oltaessa tarkistetaan kynnysarvoilmaisimen ulostulo kullekin näytteelle ja jos kynnysarvo ylitetään, siirrytään seuraavaan tilaan, verify wait -tilaan, asetetaan *DET*-laskuri yhteen ja asetetaan *FAIL*-laskuri nolnaan. Jos kynnysarvon ylityksiä ei tapahtunut millekään koodioffsetille (N_{MF} näytettä), tilakone asettaa *DO-NE*-lipun nykyiselle kanavalle. Kun kaikki tilakonekanavat on tarkistettu jokaisen mahdollisen koodivaiheoffsetin osalta, ts. kun kaikki *DONE*-liput on asetettu, ja kaikki etsittävät kantoaaltotaajuudet on käyty läpi, siirrytään takaisin fwait-tilaan.

35 Verify wait -tilassa tilakone odottaa, että datasiirtorekisterin sisään on kellotettu täysin uusi data, jotta parannetaan ilmaisun tilastollista hyvyttä ja

uusi vertailu tehdään samaa koodioffsetia käyttäen. Signaalin ilmaisun varmistamiseksi kynnysarvovertailut toistetaan useita kertoja samassa koodioffset-asemassa. Sen jälkeen kun on odotettu verify wait -tilassa koodin pituuden (N_{MF} näytettä) ajan, siirrytään verify-tilaan. Tässä tilassa tarkistetaan kynnysarvoilmaisimen arvo, ja jos ilmaisu on indikoitu, kasvatetaan *DET*-laskuria yhdellä. Muutoin *FAIL*-laskuria kasvatetaan yhdellä. Jos osumien (*DET*) ja epäonnistumisten (*FAIL*) lukumäärät ovat yhä niiden vastaavien maksimiarvojen alapuolella, siirrytään uudelleen verify wait -tilaan. Muutoin, jos osumien (*DET*) lukumäärä on maksimiarvon yläpuolella, signaali todetaan löydetyksi ja nykyinen PRN-koodi, taajuus ja koodioffset annetaan hakujärjestelmän ulostulona. Viimeisen varmistuksen jälkeen voi tapahtua kaksi asiaa. Jos koodioffset on viimeinen, taajuutta muutetaan ja siirrytään fwait-tilaan. Muutoin siirrytään seek-tilaan ja hakua jatketaan normaalisti.

Tilakone pyyhkäisee paikallisoskillaattoritaajuuden (LO) ala- ja yläraja-arvojen välillä konfiguroitavissa olevin askelin. Haettu taajuusalue muodostuu kiinteästä välitaajuudesta (IF) ja Doppler-taajuudesta. Nämä raja-arvot asetetaan todellisen RF (Radio Frequency) etupään välitaajuuden (IF) ja suurimman odotetun Doppler-siirtymän mukaan. Tilakoneessa on myös menetelmä, jolla hakujärjestelmä voidaan asettaa alkutilaansa. Useampikanavaista sovitettua suodatinta käytettäessä tilakone huolehtii siitä, että taajuushaku tapahtuu vasta sen jälkeen, kun kaikki kanavat ovat kerran käyneet läpi kaikki vaihe-erot. Muuten eri kanavat toimivat täysin riippumatta toisistaan. Tämä mahdollistaa parhaan rinnakkaisuudesta saavutettavan hyödyn.

Kuten edellä on kuvattu, keksinnön ja sen edullisten suoritusmuotojen mukaisessa järjestelmässä ja menetelmässä on ratkaistu pitkän integrointiajan aiheuttamat ongelmat sekä ajoituksen että koherentin ja epäkoherentin integroinnin osalta, ja keksinnön ja sen suoritusmuotojen mukainen hakujärjestelmä hakee omatoimisesti annettua referenssisignaalia vastaavan koodin vaiheen ja taajuusestimaatin.

Alan ammattilaiselle on ilmeistä, että tekniikan kehittyessä keksinnön perusajatus voidaan toteuttaa monin eri tavoin. Keksintö ja sen suoritusmuodot eivät siten rajoitu yllä kuvattuihin esimerkkeihin vaan ne voivat vaihdella patenttivaatimusten puitteissa.

Patenttivaatimukset

1. Laite hajaspektrivastaanottimen vastaanottaman demoduloidun ja digitaalisiksi näytteiksi muunnetun signaalin ilmaisemiseksi, tunnettu siitä, että laite käsittää:

- 5 sovitetun suodattimen (4-16), joka laskee korrelaation sisääntulo-signaalin (4-2, 4-4) ja ainakin yhden referenssisignaalin (4-21) välillä;
 oskillaattorin (4-8), joka tuottaa näytteenottotaajuuden;
 näytteenottopiiriin (4-10), joka uudelleennäytteistää mainitun demoduloidun digitaalisen näytesignaalin mainitulla näytteenottotaajuudella, joka on
 10 sellainen, että näytteenottopiiriltä (4-10) sovitetulle suodattimelle (4-16) menevän näytesignaalin näytteiden ajoitus vastaa sovitetun suodattimen (4-16) referenssisignaalin (4-21) ajoitusta; ja
 kertojan (4-12), jossa näytesignaali ennen näytteenottopiiriä (4-10) tai sen jälkeen kerrotaan paikallisesti generoidulla kantaaltoreplikalla kanta-
 15 aallon poistamiseksi näytesignaalista.

2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen laite, tunnettu siitä, että mainitun oskillaattorin (4-8) tuottama näytteenottotaajuus on säädettävissä siten, että näytteenottopiiriltä sovitetulle suodattimelle (4-16) menevän näytesignaalin ajoitus vastaa sovitetun suodattimen (4-16) referenssisignaalin näyt-
 20 teiden ajoitusta.

3. Patenttivaatimuksen 1 tai 2 mukainen laite, tunnettu siitä, että laite käsittää yhden tai useamman koherentin integraattorin (4-35), jonka integroi sovitetun suodattimen (4-16) ulostuloina tuottamat korrelaationäytteet (4-26, 4-28) integrointijakson yli, joka on pidempi kuin sovitetun suodattimen
 25 (4-16) ajallinen pituus.

4. Patenttivaatimuksen 3 mukainen laite, tunnettu siitä, että sovitetun suodattimen (4-16) ulostulot ovat kompleksiset korrelaationäytteet (4-26, 4-28), ja että koherentti integraattori (4-35) käsittää akkumulaattorin (4-34) kahden tai useamman samaa sisääntulosignaalin vaihe-eroa vastaavan
 30 korrelaationäytteen (4-26, 4-28) summaamiseksi yhteen, jolloin summa vastaa yhdellä vaihe-erolla laskettua korrelaatiotulosta, jonka integrointiaika on $N_{MF} \cdot L_C$ näytettä, missä N_{MF} on sovitetun suodattimen (4-16) pituus näytteiden lukumääränä ja L_C on akkumulaattorin (4-34) summaamien korrelaationäytteiden lukumäärä.

35 5. Patenttivaatimuksen 1, 2, 3 tai 4 mukainen laite, tunnettu siitä, että laite käsittää laskimen (4-38), jolla lasketaan sovitetun suodattimen

(4-16) tai koherentin integraattorin (4-35) ulostuloina antamien korrelaationäytteiden itseisarvot tai itseisarvojen estimaatit.

6. Patenttivaatimuksen 5 mukainen laite, tunnettu siitä, että sovitettun suodattimen (4-16) tai koherentin integraattorin (4-35) ulostulot ovat
5 kompleksisia korrelaationäytteitä, ja että mainittu laskin (4-38) suorittaa kompleksisen korrelaationäytteen itseisarvon tai sen estimaatin laskemisen.

7. Patenttivaatimuksen 5 tai 6 mukainen laite, tunnettu siitä, että laite käsittää yhden tai useamman epäkoherentin integraattorin (4-41), joka integroi mainitut korrelaationäytteiden itseisarvot tai itseisarvojen estimaatit
10 integrintijakson yli, joka on pidempi kuin sovitettun suodattimen (4-16) ajallisen pituus.

8. Patenttivaatimuksen 7 mukainen laite, tunnettu siitä, että epäkoherentti integraattori (4-41) käsittää akkumulaattorin (4-40) kahden tai useamman samaa sisääntulosignaalin vaihe-eroa vastaavan korrelaationäytteen itseisarvon tai itseisarvon estimaatin summaamiseksi yhteen, jolloin
15 summa vastaa yhdellä vaihe-erolla laskettua korrelaatiotulosta, jonka integrointiaika on $N_{MF} \cdot L_N$ näytettä, missä N_{MF} on sovitettun suodattimen pituus (4-16) näytteiden lukumääränä ja L_N on akkumulaattorin (4-40) summaamien korrelaationäytteiden lukumäärä.

9. Jonkin edellisen patenttivaatimuksen mukainen laite, tunnettu siitä, että laite käsittää vertailijan (4-45), joka vertaa sovitettun suodattimen (4-16), koherentin integraattorin (4-35), itseisarvolaskimen (4-38) tai epäkoherentin integraattorin (4-41) ulostuloarvoja ennalta määrättyyn kynnysarvoon ja antaa vertailutuloksen, joka kertoo ylittääkö ulostuloarvo mainitun
25 kynnysarvon vai ei.

10. Patenttivaatimuksen 9 mukainen laite, tunnettu siitä, että laite käsittää kontrollerin, joka kerää useita samaa vaihe-eroa ja referenssisignaalia vastaavia vertailutuloksia joka vasteena sille, että ennalta määrätty osuus kerätyistä vertailutuloksista kertoo ulostuloarvon ylittäneen mainitun
30 kynnysarvon, päättää signaalin löytyneen.

11. Jonkin edellisen patenttivaatimuksen mukainen laite, tunnettu siitä, että laite käsittää kontrollerin, joka säättää mainitun oskillaattorin tuottamaan näytteenottotaajuutta korrelaation etsimiseksi erilaisilla vastaanotetun signaalin vaihe-eroilla.

12. Jonkin edellisen patenttivaatimuksen mukainen laite, tunnettu siitä, että laite on monikanavainen ja hakee aikajakoisesti kahta tai useampaa vastaanotettua signaalia rinnakkain.

57) Tiivistelmä

Keksinnön kohteena on laite hajaspektrivastaanottimen vastaanottaman demoduloidun ja digitaalisiksi näytteiksi muunnetun signaalin ilmaisemiseksi. Laitteelle on tunnusomaista, että se käsittää sovitetun suodattimen (4-16), joka laskee korrelaation sisääntulosignaalin ja ainakin yhden referenssisignaalin välillä; oskillaattorin (4-8), joka tuottaa näytteenottotaajuuden; näytteenottopiirin (4-10), joka uudelleennäytteistää mainitun demoduloidun digitaalisen näytesignaalin mainitulla näytteenottotaajuudella, joka on sellainen, että sovitetun suodattimen (4-16) referenssisignaalien näytteiden ajoitus vastaa näytteenottopiiriltä sovitetulle suodattimelle (4-16) menevän näytesignaalin ajoitusta; ja kertojan (4-12), jossa näytesignaali ennen näytteenottopiiriä tai sen jälkeen kerrotaan paikallisesti generoidulla kanta-aaltoreplikalla kanta-aallon poistamiseksi näytesignaalista.

(Kuvio 4)

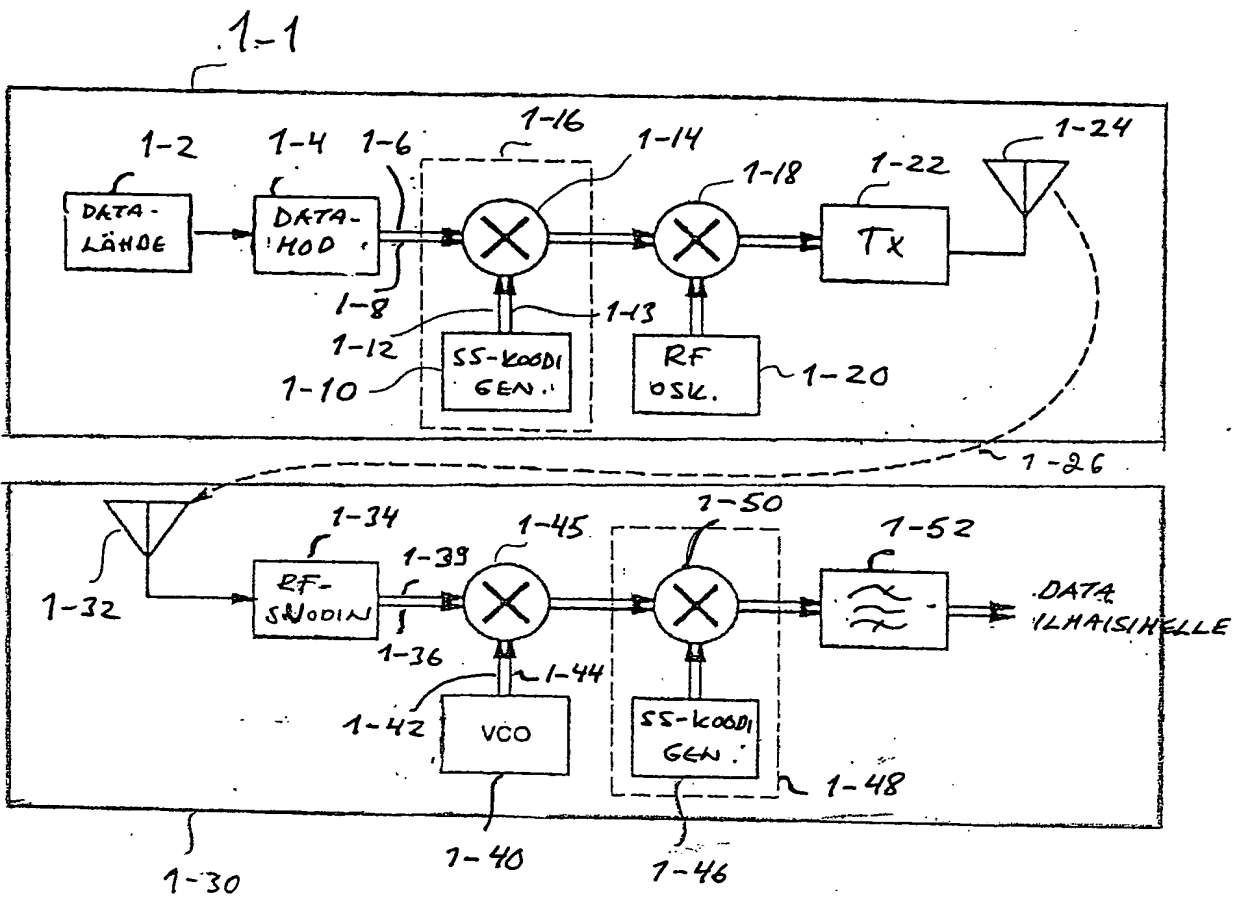


Fig. 1

FIG. 2

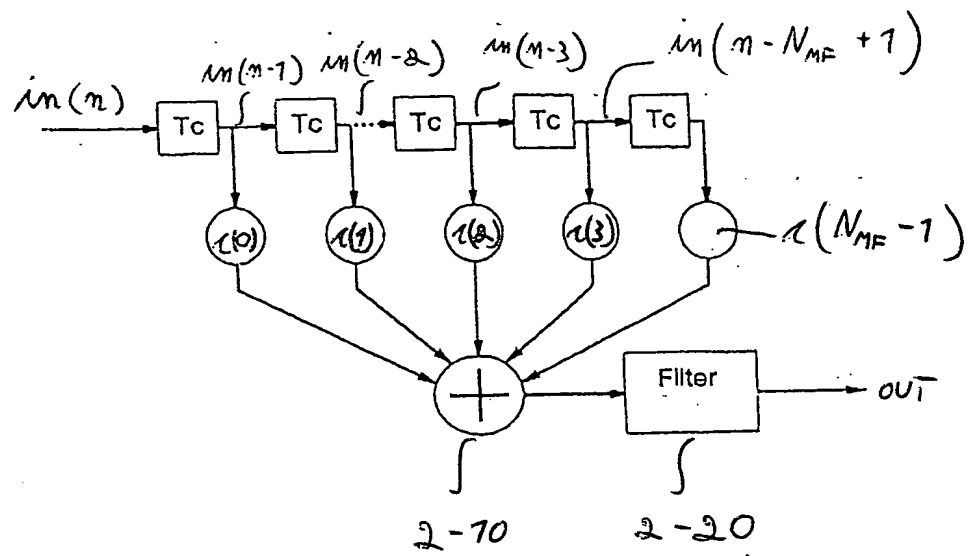
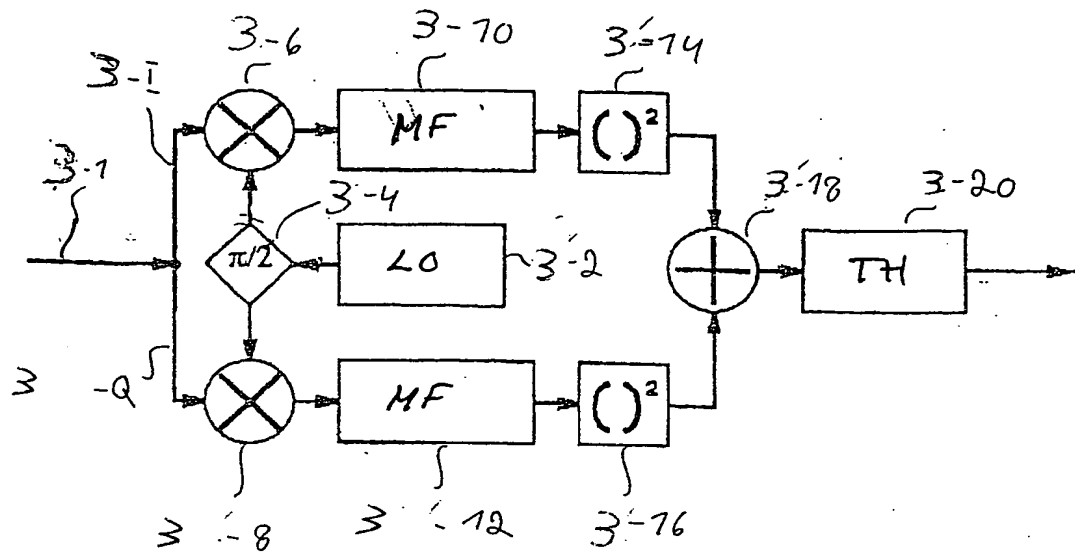


Fig. 3



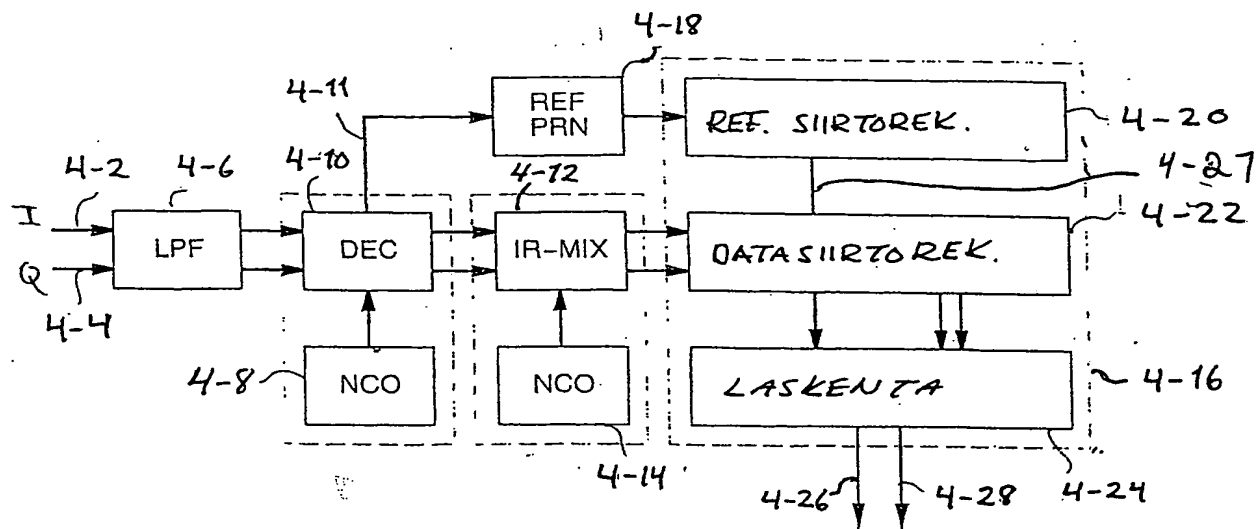


Fig. 4

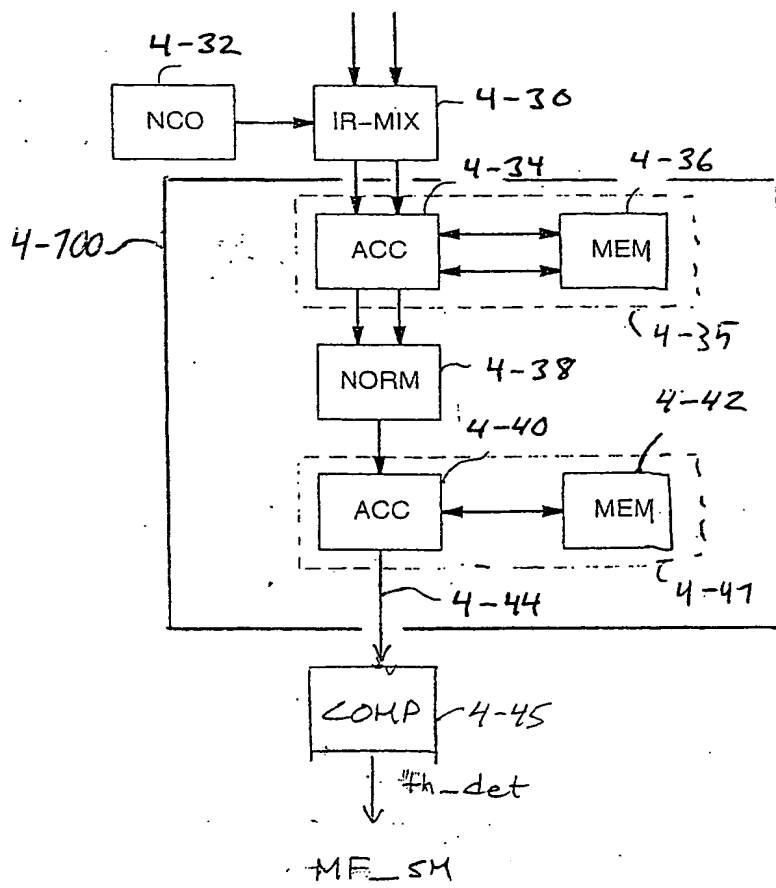
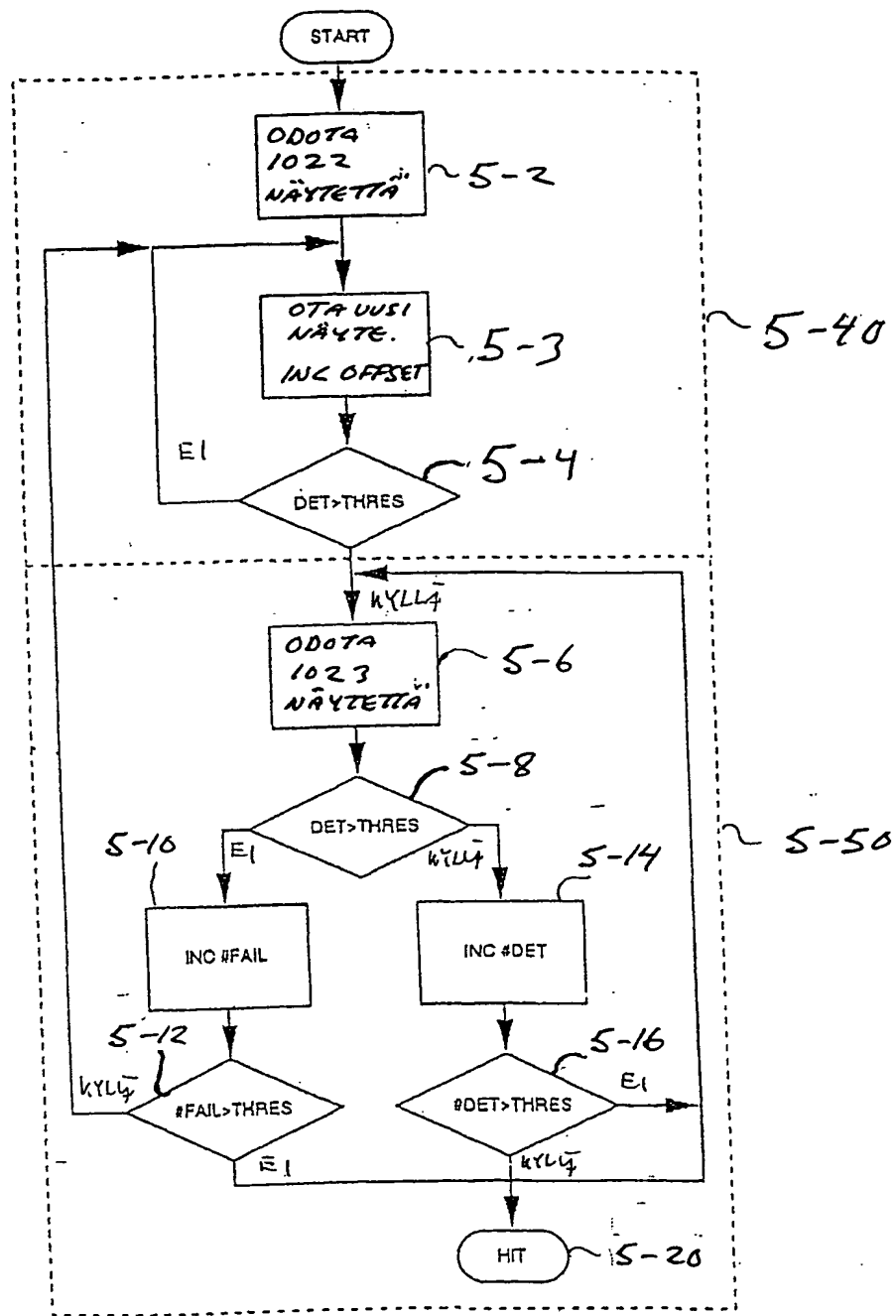


Fig. 5



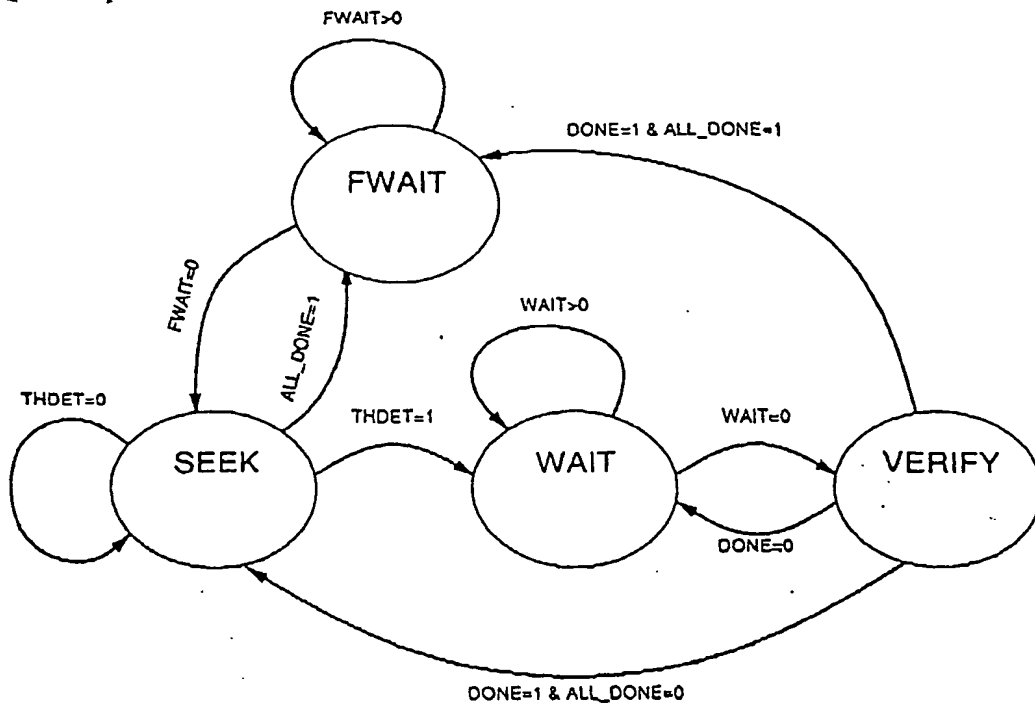


Fig. 6.